

prior art cited
in Written Opinion

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-040087

(43)Date of publication of application : 19.02.1993

(51)Int.Cl.

G01N 21/21

G01N 21/35

H01L 21/66

(21)Application number : 03-199457

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 08.08.1991

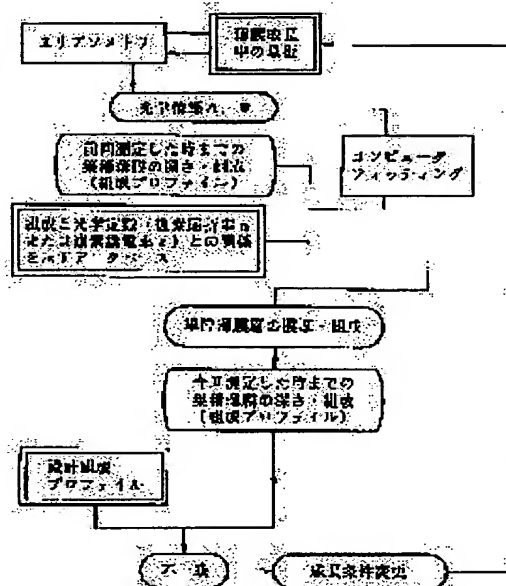
(72)Inventor : FUJIOKA HIROSHI

(54) METHOD FOR MEASURING AND CONTROLLING CONCENTRATION OF ELEMENT IN SEMICONDUCTOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To measure the concn. profile of the element in a semiconductor within a short time and to control the growth of a membrane in situ.

CONSTITUTION: The optical data of a semiconductor is measured by ellipsometry and converted to an element concn. profile on reference to the data base of preliminarily accumulated optical data/composition data. By this constitution, the concn. profile of impurity is calculated and the composition file of a two-component type semiconductor during the growth of a membrane is hourly calculated to be fed back to a growing condition.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-40087

(43)公開日 平成5年(1993)2月19日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 N 21/21	Z	7370-2J		
21/35	Z	7370-2J		
H 0 1 L 21/66	Z	7013-4M		

審査請求 未請求 請求項の数6(全 8 頁)

(21)出願番号 特願平3-199457

(22)出願日 平成3年(1991)8月8日

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(72)発明者 藤岡 洋

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(74)代理人 弁理士 青木 朗 (外3名)

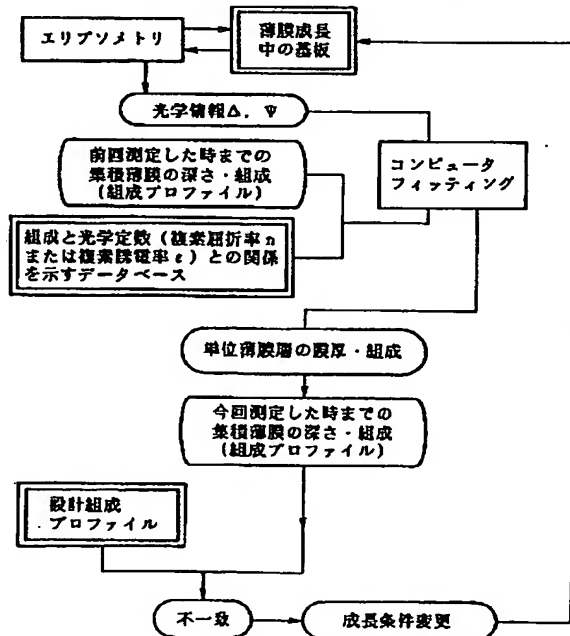
(54)【発明の名称】 半導体中の元素濃度の測定および制御方法

(57)【要約】

【目的】 半導体中の元素濃度プロファイルの測定方法に関し、短時間で測定し、さらに薄膜成長を in situ で制御することを目的とする。

【構成】 エリプソメトリによって、半導体の光学情報を測定し、あらかじめ蓄積した光学情報／組成データのデータベースに参照して、元素濃度プロファイルに変換し、これによって不純物濃度プロファイルを求めるように構成し、また薄膜を成長中の二成分系半導体の組成プロファイルを刻々求めて、これを成長条件にフィードバックさせるように構成する。

半導体の二成分系薄膜の成長制御ブロック図



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 (a) 可視分光エリブソメトリまたは赤外線エリブソメトリによって、基板上に成長中の二成分系薄膜を含む半導体の光学情報 Δ 、 Ψ を刻々測定し、

(b) この光学情報を、直前に測定した時までの集積薄膜の深さ組成情報と、組成と光学定数（複素屈折率 n または複素誘電率 ϵ ）の関係を示すデータベースに参照し、単位薄膜層の組成と膜厚をパラメータにコンピュータフィッティングすることにより、単位薄膜層の組成データおよび膜厚データを得、

(c) これを蓄積して薄膜全体の深さと組成の関係を求めて測定時までの組成プロファイルを刻々得、

(d) この組成プロファイルを、設計の組成プロファイルにフィッティングさせてその差を求め、薄膜成長条件にフィードバックさせて薄膜成長を刻々制御することを特徴とする半導体の二成分系薄膜成長の制御方法。

【請求項2】 可視分光エリブソメトリにおいて、光学情報 Δ 、 Ψ および波長を、膜厚および組成に変換する請求項1に記載の方法。

【請求項3】 二成分系薄膜が、Si基板上に成長中の $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 薄膜である請求項1記載の方法。

【請求項4】 (a) 赤外線エリブソメトリによって、拡散させた不純物を含む半導体の光学情報を測定し、

(b) 他方、半導体装置の製造条件を与えることによって不純物濃度プロファイルを計算できるプロセスシュミレータに、仮定の不純物拡散条件をパラメータとして入力して、仮定の不純物濃度プロファイルを計算し、

(c) 仮定の不純物濃度プロファイルをもった試料を赤外エリブソメトリで測定した場合に得られると予測される光学情報 Δ 、 Ψ を不純物濃度と複素屈折率の関係を蓄積したデータベースを参照して計算し、

(d) プロセスシュミレータによる光学情報を、測定による光学情報に一致するまで、プロセスシュミレータに入力する不純物拡散条件を変更してフィッティングさせ、

(e) これらの値が一致したときの不純物拡散条件によって得られるプロセスシュミレータの不純物濃度プロファイルを、求める半導体の不純物濃度プロファイルと見做すことを特徴とする、半導体の不純物濃度プロファイルの測定方法。

【請求項5】 不純物拡散条件が、温度および時間である請求項4に記載の方法。

【請求項6】 プロセスシュミレータに、パラメータの初期値として、不純物濃度プロファイルを求めるべき半導体の不純物を拡散させる温度および時間を入力する請求項4に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は半導体中の元素濃度プロファイルの測定方法、さらに特定すれば半導体の不純物

濃度プロファイルの測定方法、および二成分系薄膜半導体の薄膜の濃度プロファイルを成長中に刻々測定し、これに基づいて薄膜成長を制御する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、Si基板上に成長させる二成分系薄膜たとえば $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 薄膜の組成プロファイルの測定は、成長させて、プロセス反応装置から取出した後、たとえば二次イオン質量スペクトル分析(SIMS)によって行っていた。しかし薄膜を成長させた後の測定であるため、成長中に薄膜組成プロファイルを制御することは不可能であった。

【0003】 また、半導体中に拡散させた不純物の濃度プロファイルの測定は、たとえば二次イオン質量スペクトル分析(SIMS)やストリッピング抵抗(SR)などの破壊試験か、または非破壊的な方法として、プロセスシュミレータによって不純物の濃度プロファイルを推定することも行われたが、現実の拡散工程は必ずしも所定のとおり熱処理条件を実現させることができない。そのためシュミレータに入力する条件が現実の条件と相違して、シュミレータから得られる濃度プロファイルが試料の実際の濃度プロファイルと一致しない欠点があった。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 本発明の目的は、非破壊的な方法によって、半導体中の元素濃度プロファイル、特に半導体中の不純物濃度プロファイルの測定、および二成分系半導体薄膜の組成プロファイルの測定を行い、さらに、二成分系半導体薄膜の成長条件をinsituで制御する方法を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】 上記課題は、(a) 可視分光エリブソメトリまたは赤外線エリブソメトリによって、基板上に成長中の二成分系薄膜を含む半導体の光学情報 Δ 、 Ψ を刻々測定し、(b) この光学情報を、直前に測定した時までの集積薄膜の深さ組成情報（組成プロファイル）と、組成と光学定数（複素屈折率 n または複素誘電率 ϵ ）の関係を示すデータベースに参照し、単位薄膜層の組成と膜厚をパラメータにコンピュータフィッティングすることにより、単位薄膜層の組成データおよび膜厚データを得、(c) これを蓄積して薄膜全体の深さと組成の関係を求めて測定時までの組成プロファイルを刻々得、(d) この組成プロファイルを、設計の組成プロファイルにフィッティングさせてその差を求め、薄膜成長条件にフィードバックさせて薄膜成長を刻々制御することを特徴とする半導体の二成分系薄膜の成長制御方法、および

【0006】 (a) 赤外線エリブソメトリによって、拡散させた不純物を含む半導体の光学情報を測定し、

(b) 他方、プロセスシュミレータに、仮定の不純物拡散条件をパラメータとして入力して、仮定の不純物濃度プロファイルを計算し、(c) 仮定の不純物濃度プロ

ファイルを赤外線エリブソメトリの光学情報に変換し、

(d) プロセスシュミレータによる光学情報を、測定による光学情報に一致するまで、プロセスシュミレータにする不純物拡散条件を変更してフィッティングさせ、(e) これらの値が一致したときの不純物拡散条件によって得られるプロセスシュミレータの不純物濃度プロファイルを、求める半導体の不純物濃度プロファイルと見做すことを特徴とする、半導体の不純物濃度プロファイルの測定方法によって解決することができる。

【0007】

【作用】エリブソメトリは、偏光が既知の入射角で物体の表面に入射すると、入射偏光と反射偏光との間の光学的状態の変化を測定する。近年、このような光学情報 Δ および Ψ をコンピュータで処理することによって、エリブソメトリの応用は著しく発達した。

【0008】エリブソメトリの特徴は、極めて薄い膜厚を測定することができる。そして、インタフェロメトリや反射スペクトロメトリで測定できない程度の薄膜でも、光学情報 Δ および Ψ を測定することができる。 Δ および Ψ は次式で表される。

$$\Delta = \delta_s - \delta_p$$

(式中、 δ_s および δ_p は (入射面に垂直および平行な光の成分の反射による位相差)

$$\tan \Psi = (R_p / R_s) / (E_p / E_s)$$

(式中、 R_p および R_s は入射面に平行および垂直な反射偏光の電場成分、 E_p および E_s は入射面に平行および垂直な入射偏光の電場成分)

【0009】 Δ は、入射面に平行な偏光成分と、垂直な偏光成分との間の位相差が、反射によって変化する量であり、 Ψ は、 $\tan \Psi$ が反射による偏光の振幅比の変化を表す量である。これらをコンピュータ処理することによって、対応する複素屈折率 n (または複素誘電率 ϵ) と膜厚 d に変換することができる。

【0010】本発明の方法は、偏光測定とコンピュータ処理を組合せたエリブソメトリを応用して、半導体中の元素濃度プロファイルを測定する。さらに、二成分系薄膜半導体の成長中に、その組成プロファイルを *in situ* で測定し、これを薄膜成長条件にフィードバックさせて制御し、これによって所定の組成プロファイルを形成することができる。

【0011】本発明の方法は、極めて薄い単位薄膜層について、濃度を測定できるので、濃度が傾斜した薄膜の成長制御もできる。勿論、超格子の作製の制御もできる。なお、混晶の作製の制御にも応用することができる。

【0012】特に、赤外線エリブソメトリによって、拡散させた不純物のプロファイルを測定する場合、エリブソメトリの測定直前に、Si 基板の表面の自然酸化膜を酸洗浄して除去することが、測定の精度が高いので好ましい。最後に、赤外線エリブソメトリにおいても、偏光

を分光して使用の方が測定精度が高いので好ましい。

【0013】

【実施例】

実施例1

図1は、本発明の半導体の二成分系薄膜の組成プロファイルを制御しながら成長させる方法のブロック図である。二成分系薄膜半導体は、常法によって表1

【0014】

【表1】

Si ₂ H ₆	3 SCCM
GeH ₄	0 ~ 3 SCCM
H ₂	2000SCCM
基板温度	380℃
反応圧力	10Torr

【0015】に示す条件で、Si 基板上にSi_{1-x} Ge_x 薄膜を化学気相成長させながら、可視光分光エリブソメトリによって、光学情報として Δ 、 Ψ を測定した。この光学情報を、直前に測定した時までの集積薄膜の深さ組成情報 (組成プロファイル) と、組成と光学定数 (複素屈折率 n または複素誘電率 ϵ) の関係を示すデータベースに参照し、単位薄膜層の組成 X と膜厚 d をパラメータにコンピュータフィッティングすることにより、直前回と今回の測定の間に成長した膜厚 d と組成 X を求めた。

【0016】図2は、異なる組成のSi_{1-x} Ge_x の誘電率の波長依存を示す。特定の波長をとれば、誘電率がSi_{1-x} Ge_x の組成、すなわちGe 濃度に対応している。組成が、深さ方向に均質であり、その組成がそれぞれ異なる多数のSi_{1-x} Ge_x をあらかじめ測定して、誘電率 ϵ とGe 濃度 X の関係をデータベースとして使用した。

【0017】さきに求めた単位膜層の膜厚および組成を蓄積して薄膜全体の深さと濃度の関係を求めて、測定時までの組成プロファイルを得、これを設計の組成プロファイルにフィッティングさせて、相違する場合には、薄膜成長条件の反応ガス流量、圧力および温度の少なくとも1つにフィードバックさせた。図3は、こうして得られたGe 濃度プロファイルを設計のプロファイルに比較したグラフである。ほぼ設計値と一致する結果を示す。

【0018】実施例2

可視光分光エリブソメトリの代りに、赤外線エリブソメトリにより、光学情報として Δ および Ψ を使用して、Ge 濃度と屈折率の関係に基づいて、組成プロファイルを求めたことの他は、例1と同様に実験した。赤外線エリブソメトリの場合は、赤外線に対してSi_{1-x} Ge_x が透明であるので、複素屈折率の消衰係数がゼロとなり、分光エリブソメトリを使わなくとも、波長固定で、組成プロファイルと膜厚がわかる。

【0019】表2
【表2】

波 長 (μm)	屈 折 率	
	Si	Ge
1.2	3.5193	4.35673
1.24	—	4.325
1.372	3.5007	—
1.378	—	4.285
1.4	3.486	4.23840
1.532	3.4784	—
1.550	—	4.275

【0020】は、赤外域における、Si と Ge のそれぞれの屈折率 n を示す。Si_{1-x}Ge_x の屈折率 n は、これらの値の中間の値をとるが、 x と n の関係はあらかじめ単一組成膜を測定し、これをデータベースとして使用した。その結果、実施例1と同様に、二次イオン質量スペクトル分析による組成プロファイルとほぼ同様な組成プロファイルを得ることができた。

【0021】図4は、本発明の半導体の不純物濃度プロファイル測定方法のブロック図である。測定した半導体は、B濃度 $1 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ の p 型 Si の (111) ウェハに、33keVでAs⁺ を $5 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ 注入し、N₂ 気流中で 950℃、30秒間赤外線加熱して、As⁺ を拡散させた。エリブソメトリ測定直前にウェハは1%HFで表面の自然酸化膜を除去した。

【0022】波長0.8～2 μm の赤外線エリブソメトリを行い、光学情報として Δ および Ψ を測定した。図4に示すように、プロセスシュミレータを使用し、初期値として、上記の拡散条件の 950℃、30秒間を入力し、これによって得られた不純物プロファイルをデータベースを参照して、光学情報に変換して、測定光学情報とフィッティングさせた。これらの値が一致しない場合は、シュミレータに入力する条件を初期値より偏らせて、再び上記操作を繰返し、シュミレータの光学情報とエリブソメ

トリの測定による光学情報が一致したときに、この光学情報 Δ と Ψ を、膜面からの深さと不純物濃度に変換した。本発明による不純物濃度プロファイルは、破壊試験の二次イオン質量スペクトル分析とほぼ近似する値を示した。

【0023】

【発明の効果】本発明によれば、試料半導体を破壊することなく、不純物プロファイルを、極く短時間で、簡単にモニタすることが可能となり、不純物拡散工程における制御性、ひいては半導体素子の歩留りを大幅に向上することができる。また本発明によれば破壊試験の手間を省いて、薄膜成長中にヘテロ接合素子の組成プロファイルを in situ で測定し、その情報をフィードバックさせて、組成プロファイルを高精度で制御する。これによってヘテロバイポーラトランジスタなどの高速素子を容易に作製することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によって、薄膜成長中のヘテロ接合素子の組成プロファイルを制御するブロック図である。

【図2】異なる組成Si_{1-x}Ge_x の誘電率の波長依存を示すグラフである。

【図3】本発明によって作製した薄膜の組成プロファイルを設計値と比較して示すグラフである。

【図4】本発明によって、不純物を拡散させた半導体の不純物濃度プロファイルを求めるブロック図である。

【図5】本発明によって測定した不純物濃度プロファイルを、従来のシュミレータによる値と比較して示すグラフである。

【符号の説明】

I … Si

II … Si_{0.78} Ge_{0.22}

III … Si_{0.61} Ge_{0.39}

IV … Ge

A … 本発明によって成長させた二成分薄膜の組成プロファイル

B … 設計組成プロファイル

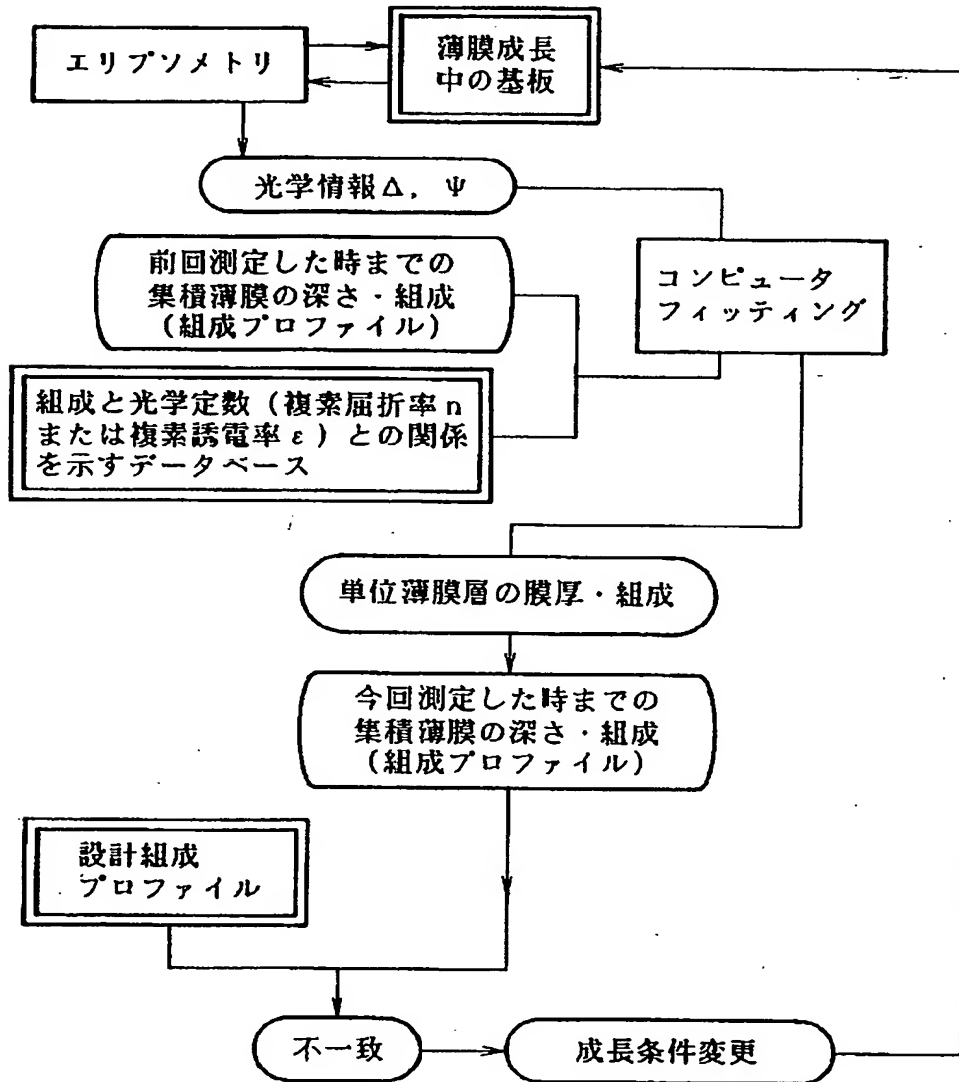
a … 本発明によって測定した不純物濃度プロファイル

b … 二次イオン質量スペクトル分析による不純物濃度プロファイル

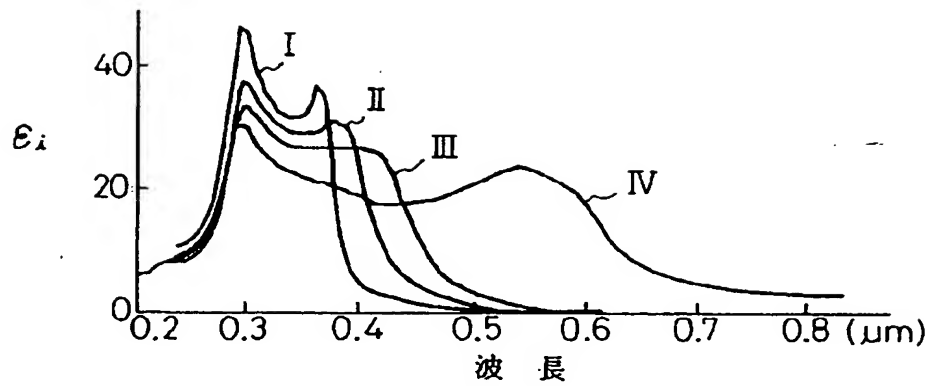
c … シュミレータのみによって測定した不純物濃度プロファイル

【図1】

半導体の二成分系薄膜の成長制御ブロック図

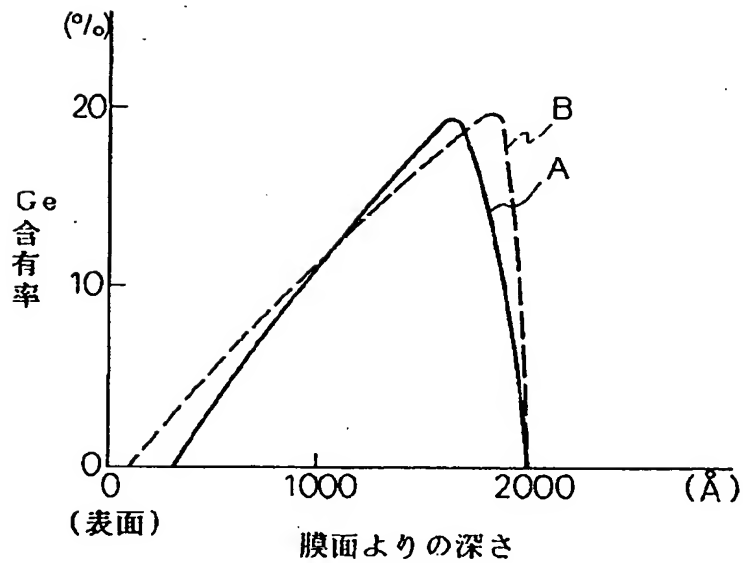


【図2】



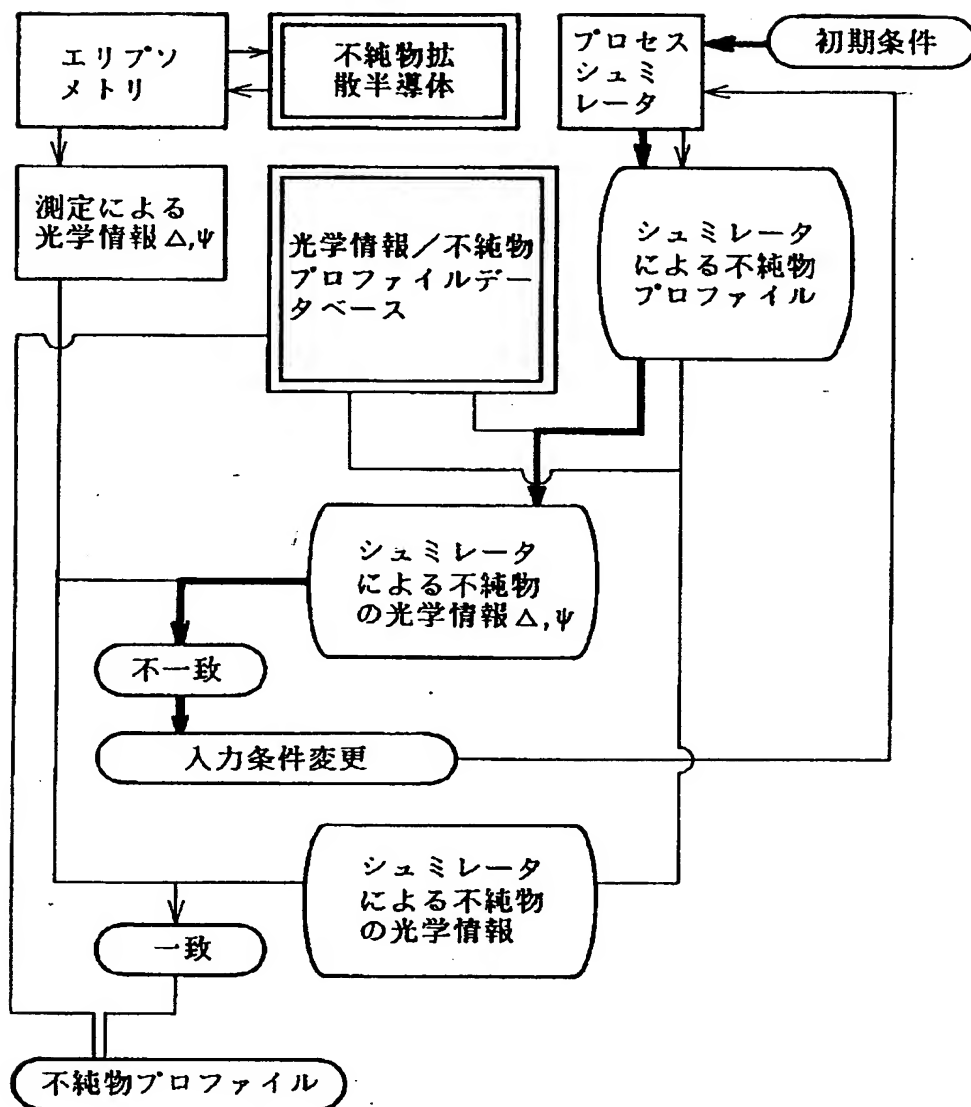
I ... Si
 II ... Si_{0.73} Ge_{0.22}
 III ... Si_{0.61} Ge_{0.39}
 IV ... Ge

【図3】



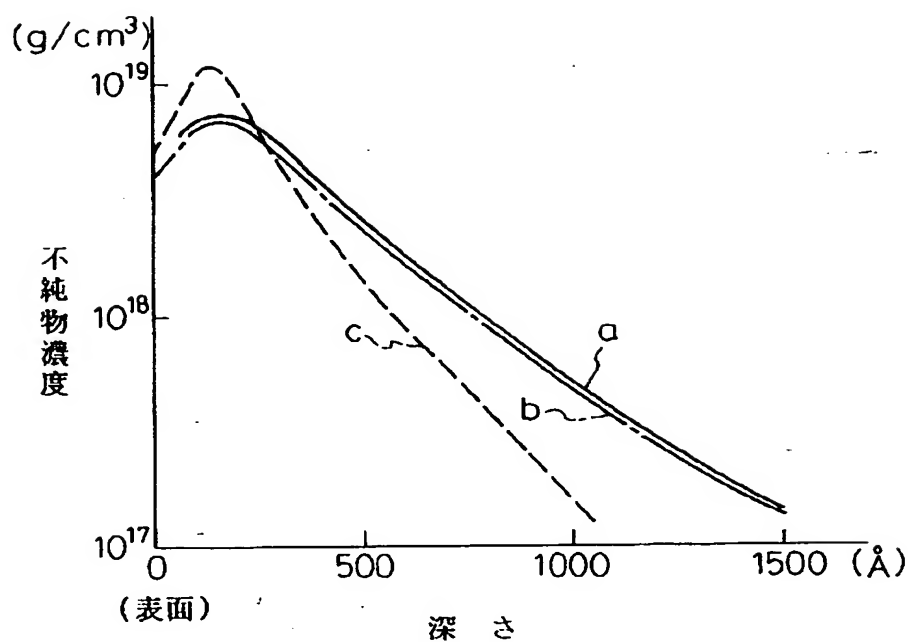
A ... 本発明によって成長させた薄膜の組成プロファイル
 B ... 設計組成プロファイル

半導体の不純物プロファイルの測定ブロック図



BEST AVAILABLE COPY

【図5】



- a ... 本発明によって測定した不純物濃度
プロフィール
- b ... 二次イオン質量スペクトル分析によ
って測定した不純物濃度プロフィール
- c ... シミュレータのみによって測定した
不純物濃度プロフィール

BEST AVAILABLE COPY